

COMUNE DI SOVICILLE (SI)

***Studio idrologico e idraulico del T. Rosia e dei Fossi Mulinello, Busso,
Canale e Doccino presso lo stabilimento Novartis di Bellaria – Rosia***

d.01 – Relazione tecnica – Studio Idrologico

Settembre 2013

Rev. 1

Committente:

NOVARTIS VACCINES AND DIAGNOSTICS srl

Via Fiorentina 1,
53100 Siena Italy

Il tecnico

Ing. Claudio Lombardi

Collaboratori

Ing. Alessio Magazzini

Ing. Alberto Nastasi

Indice

D.01 – RELAZIONE TECNICA – STUDIO IDROLOGICO	1
INTRODUZIONE	3
STUDIO IDROLOGICO	7
PREMESSA	7
PIOGGE DI PROGETTO.....	10
DESCRIZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO DI HEC - HMS 3.5.....	12
<i>Basin Model per il F.sso Mulinello e il T. Rosia.....</i>	<i>15</i>
<i>letogramma delle piogge.....</i>	<i>16</i>
CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	19
<i>Stima del coefficiente di deflusso – metodo Curve Number.....</i>	<i>19</i>
<i>Idrogramma unitario di piena e Tempo di Ritardo (Time Lag).....</i>	<i>24</i>
<i>Sintesi dei risultati – Portate di piena</i>	<i>28</i>
<i>Sintesi dei risultati – Idrogrammi di piena</i>	<i>29</i>
I DATI DISPONIBILI DALLO STUDIO DI REGIONALIZZAZIONE DELLE PIENE IN TOSCANA	34

Introduzione

Su incarico della Novartis Vaccines and Diagnostics è stato redatto il presente studio idrologico e idraulico del T. Rosia e del F.sso Mulinello, con gli affluenti F.sso di Canale, F.sso del Busso e F.sso del Doccino, al fine di individuare i livelli di rischio idraulico per i tempi di ritorno significativi (20, 30 e 200 anni) nell'area dell'insediamento industriale Novartis Vaccines in loc.tà Bellaria – Rosia nel Comune di Sovicille, per l'aggiornamento del quadro conoscitivo del Bacino Regionale del F. Ombrone.



foto 1 – Ripresa aerea con indicazioni delle aste dei corsi d'acqua in studio

Come riscontrabile dalla cartografia riportata di seguito una porzione dello stabilimento ricade in aree a pericolosità Idraulica Elevata (PIE), a seguito dell'adeguamento del Piano Strutturale comunale (Comitato Tecnico in data 29/09/2009).

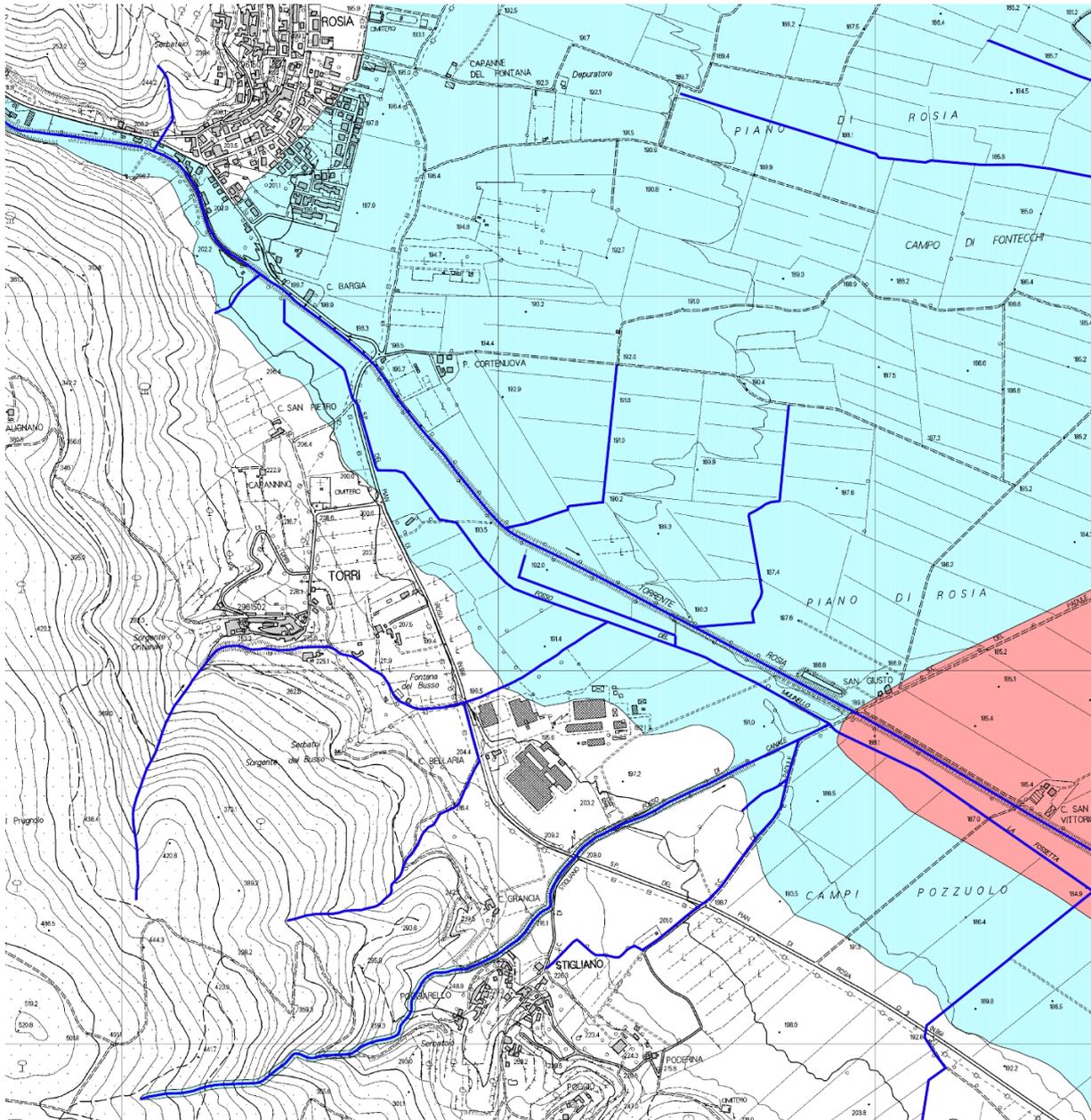


Figura 1 - carta delle pericolosità idrauliche (estratto da indagini di supporto al Piano Strutturale - TAV. 10B NE)

LEGENDA

- Proposta di nuova perimetrazione Aree P.I.E.
- Proposta di nuova perimetrazione Aree P.I.M.E.

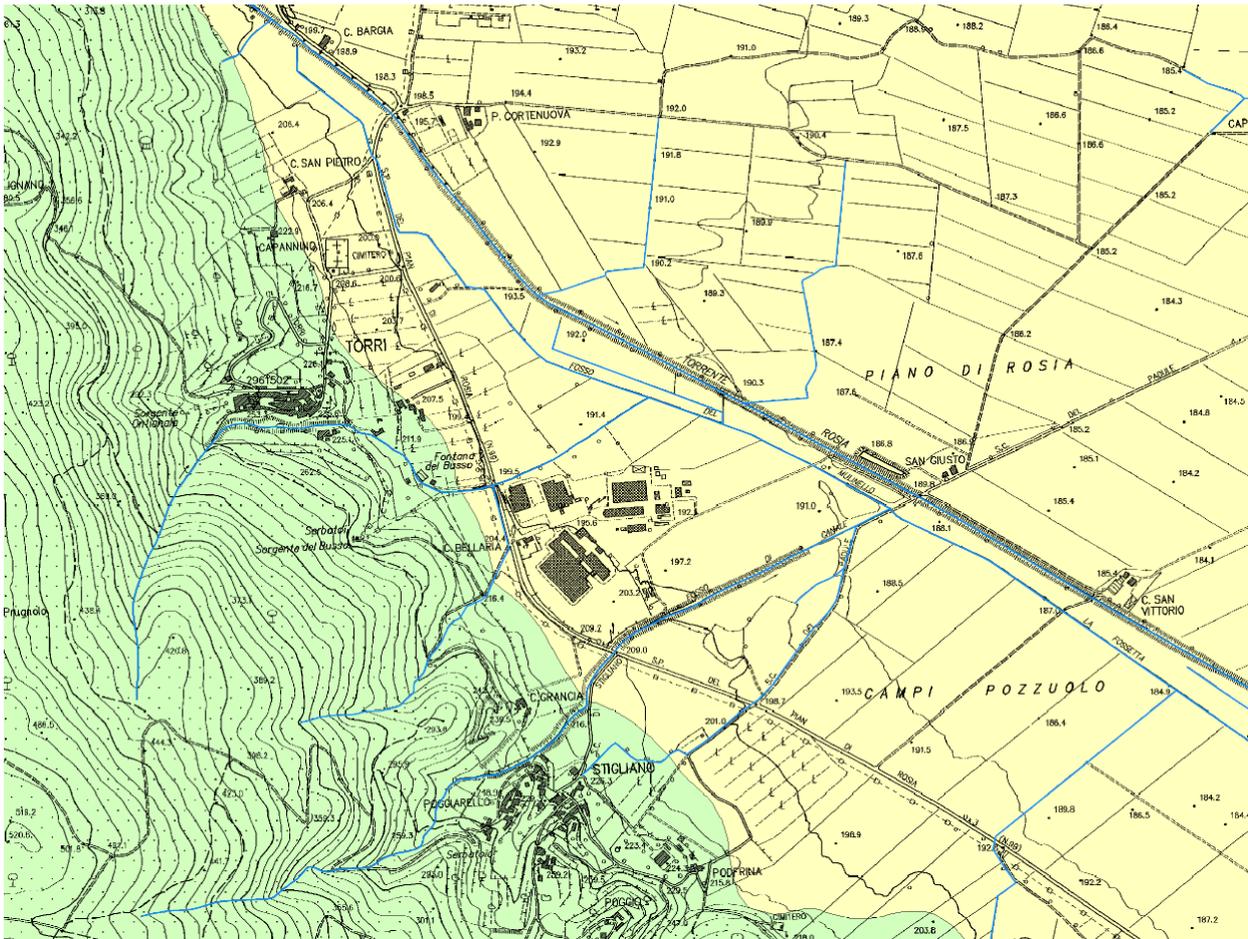


Figura 2 - estratto della carta del PAI del F. Ombrone

Legenda

-  Limite Bacino
-  Confini Provinciali
-  Confini Comunali
-  Reticolo acque superficiali di riferimento
-  A.S.I.P.
-  P.I.M.E.
-  P.I.E.
-  P.F.M.E.
-  P.F.E.
-  Dominio costiero
-  Dominio idraulico
-  Dominio geomorfologico e idraulico-forestale
-  Aree a sollevamento meccanico
-  Eventi alluvionali 2004
-  Aree di particolare attenzione per l'equilibrio costiero
-  Punti critici

Per l'individuazione dei livelli di rischio idraulico sono state ricostruite le portate di piena per i corsi d'acqua in studio e inserite in due modelli idraulici distinti, uno per il T. Rosia, l'altro per il F.sso Mulinello e i suoi affluenti F.ssi Canale, Busso e Doccino.

Entrambi i modelli idraulici sono realizzati in moto vario, utilizzando l'applicativo HEC Ras dell'US Army Corps of Engineers.

Le sezioni topografiche inserite nel modello sono state appositamente rilevate da Geom. Stefano Rossi di Siena, mediante l'impiego di stazione totale e strumentazione GPS, restituite in coordinate Gauss Boaga e in quota assoluta compensata su capisaldi IGM; risulta disponibile un rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:1.000 restituito dal Geom. Barbucci di Poggibonsi, basato sulla ripresa aerea dell'anno 2006, che è stato esteso in modo da comprendere l'intera zona in studio.

Le aree allagate sono individuate e riportate sulla cartografia disponibile, costituita dal rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:1000 integrata con la CTR in scala 1:2000 e 1:10.000.

Studio idrologico

Premessa

Il T. Rosia appartiene al reticolo idrografico del Fiume Ombrone, risultando un tributario in sinistra idraulica del F. Merse.

Il F.sso Mulinello è affluente di destra del T. Rosia, dove confluisce a circa 2 km a valle della sezione di chiusura del presente studio.

I F.ssi del Busso e di Canale risultano tributari del F. Mulinello, mentre il F.sso del Doccino è affluente di destra del F.sso del Busso; le tre confluenze ricadono nell'area oggetto delle verifiche idrauliche.

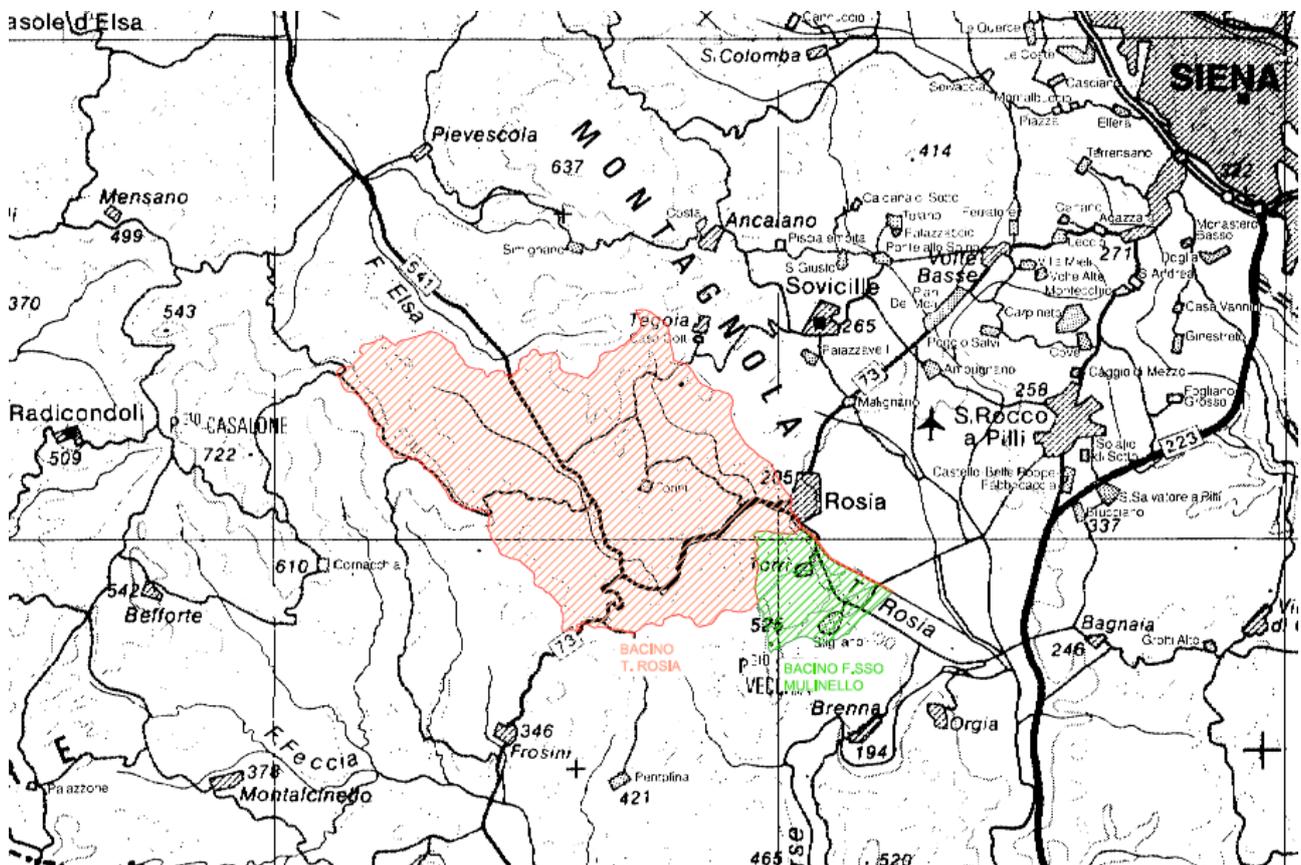


Figura 3 - inquadramento del bacini del T. Rosia e del F. Mulinello

Per l'individuazione dei bacini e delle varie sezioni di chiusura sui tratti in studio si rimanda all'elaborato grafico allegato TAV-00 - Individuazione dei bacini idrografici.

Tabella 1 –sezioni di chiusura ed aree dei bacini e sottobacini del presente studio idrologico-idraulico

Sezioni	Descrizione	Area
		[kmq]
Mulinello 1	Fosso del Mulinello a monte confluenza fosso del Busso	1.286
Busso 1	Fosso del Busso a monte confluenza F.sso del Doccino	0.807
Doccino	Fosso del Doccino	0.372
Busso 2	Fosso del Busso a valle confluenza F.sso del Doccino	1.179
	Interbacino 1 (Bacino F.sso del Busso)	0.045
Busso 3	Fosso del Busso a monte confluenza F.sso del Mulinello	1.224
Mulinello 2	Sezione a valle della confluenza fra F.sso Mulinello e F.sso del Busso	2.510
	Interbacino 2 (Bacino Fosso del Mulinello)	0.394
Mulinello 3	Sezione di Chiusura sul F.sso Mulinello, a monte della confluenza con il F.sso di Canale	2.904
Canale	Fosso di Canale	0.798
Mulinello 4	Sezione di Chiusura sul F.sso Mulinello, a valle della confluenza con il F.sso di Canale	3.702
Rosia	Sezione di chiusura sul T. Rosia , a valle della S.C. del Padule	33.076

La modellizzazione idrologica, per l'individuazione delle portate e degli idrogrammi di piena per tempi di ritorno di 20, 30 e 200 anni, è stata effettuata utilizzando il software HEC-HMS vers. 3.5 dell'US Army Corps of Engineers.

La linea segnalatrice di possibilità pluviometrica prescelta è stata desunta dai dati disponibili dallo *Studio di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana* (generati dall'applicativo ALTO 2000 GIS) per il Bacino del T. Rosia, a monte della confluenza con il F. Merse (asta codice 8375); lo ietogramma utilizzato prevede l'impiego della cumulata derivata dalla curva di possibilità pluviometrica suddetta, per ogni frequenza di superamento e per ogni durata della pioggia.

Per determinare l'infiltrazione iniziale e quella costante dovuta alle diverse litologie e usi del suolo, è stato utilizzato il metodo del *Curve Number (CN)* sviluppato dall'*U.S. Soil Conservation Service (SCS)*.

Il metodo di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato per la stima del coefficiente di deflusso è quello sviluppato dall'*U.S. Army Corps of Engineers SCS* di tipo lineare (differenza fra afflussi ed infiltrazione), che prevede la stima del *Time Lag* (o tempo di ritardo) fra il baricentro dello ietogramma (piogge) e quello dell'idrogramma (portate di piena), mediante la formula specifica individuata.

Per quanto riguarda il T. Rosia è stato inoltre effettuato un confronto di verifica con i dati della *Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana*, utilizzando l'applicativo ALTO 2000, sviluppato dalla Regione Toscana (versione Aprile 2003), che implementa la metodologia ufficiale per la regionalizzazione delle portate di piena in Toscana.

L'applicativo ALTO2000, integrato in ambiente ESRI - ArcGIS, che ne costituisce l'interfaccia geografica, applica le procedure di cui alla "*Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana*" [PIN, 1996 e s.m.i.], fondate sulle seguenti ipotesi metodologiche:

- modelli T.C.E.V. ed E.V.I. delle distribuzioni probabilistiche regionalizzate dei valori estremi di precipitazione (L.S.P.P. a 3 parametri);

- modello afflussi-deflussi lineare del tipo IUH (idrogramma di Nash);
- metodo dell'evento pluviometrico critico, cioè della determinazione della durata critica di pioggia che massimizza la portata al colmo per un assegnato tempo di ritorno;
- determinazione della pioggia efficace, ottenuta decurtando lo ietogramma della quota di perdite per assorbimento iniziale (Ia) e infiltrazione (Ks).

Per gli altri F.ssi la Regionalizzazione non fornisce dati attendibili in ragione delle ridottissime dimensioni dei bacini e della non corretta digitalizzazione dei reticoli idrografici, come nel caso dei F.ssi Busso e di Canale che sono erroneamente considerati tributari del T. Rosia.

In sintesi lo studio idrologico risulta articolato nelle seguenti fasi:

- individuazione delle sezioni di chiusura del bacino del T Rosia e del F.sso Mulinello (con relativi F.ssi tributari Busso, Canale e Doccino) e dei parametri geomorfologici;
- individuazione degli idrogrammi di piena con l'applicativo AITo 2000 GIS (Regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana) in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino del T. Rosia;
- ricostruzione degli idrogrammi di piena con il software HEC-HMS 3.5, mediante l'implementazione nel modello idrologico:
 - delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;
 - dello ietogramma secondo il modello *Frequency Storm*;
 - del metodo CN per la stima dell'infiltrazione;
 - delle condizioni di saturazione del terreno per la situazione di verifica (suolo saturo AMC III);
 - del metodo SCS (IUH con time lag, tempo di ritardo) per la generazione dell'idrogramma di piena.

Piogge di progetto

Le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, inerenti le piogge di progetto (afflussi), basate sull'analisi dalle serie storiche disponibili (dati aggiornati al 1998), sono state desunte dall'*Analisi delle precipitazioni intense delle stazioni del compartimento di Pisa*, pubblicate a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali, secondo la forma:

$$h = a t^n T_r^m$$

con

h = altezza di precipitazione [mm]

t = durata [ore]

T_r = tempo di ritorno [anni]

Il pluviometro di riferimento del bacino del T. Rosia, con registrazione degli eventi estremi per un numero significativo di anni è quello della Fattoria di Cotorniano, situato al confine del bacino idrografico.

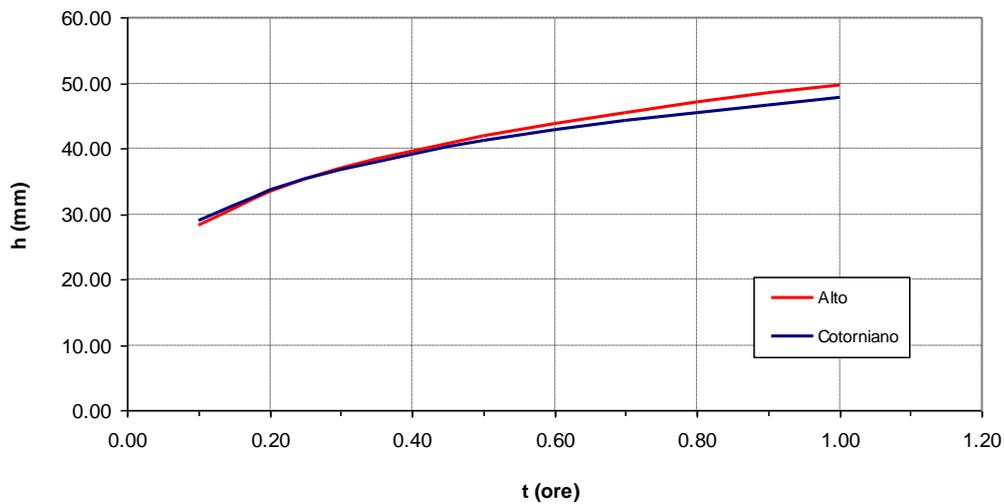
I parametri caratteristici a , n e m sono stati confrontati con i parametri disponibili dallo Studio di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana (generati dall'applicativo ALTO 2000 GIS):

Tabella 2- parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

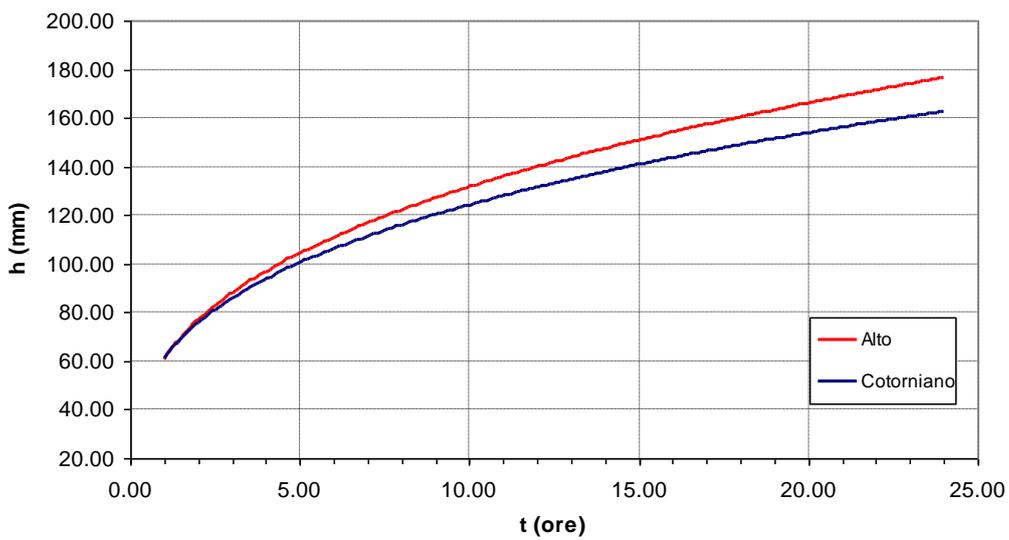
		$t > 1 \text{ ora}$			$t < 1 \text{ ora}$		
		a	n	m	a	n	m
ALTO	Sezione n. 8375	20,981	0,335	0,201	20,172	0,246	0,17
2740	Fattoria Cotorniano	22,218	0,308	0,191	19,494	0,216	0.169

I grafici seguenti riportano il confronto tra le due curve segnalatrici di possibilità pluviometrica disponibili per tempo di ritorno 200 anni; si può riscontrare che per eventi di durata superiori ai 20 minuti il dato ottenuto dalla Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana restituisce valori di pioggia maggiori rispetto ai dati della stazione del pluviometro di Cotorniano e quindi, a favore di sicurezza per ricavare gli idrogrammi di piena dei vari corsi d'acqua si utilizza la curva di possibilità pluviometrica della Regionalizzazione.

Confronti curve possibilità climatica $d < 1h$ $Tr = 200$ anni



Confronti curve possibilità climatica $d > 1h$ $Tr = 200$ anni



Descrizione del modello idrologico di HEC - HMS 3.5

Il programma HEC – HMS 3.5 dell'US Corps of Engineers è stato sviluppato per simulare i processi di trasformazione afflussi - deflussi (precipitazioni – runoff) di bacini di drenaggio naturali e/o artificiali.

L'applicativo consente la creazione di un modello afflussi – deflussi che è in grado di simulare gli idrogrammi di piena con assegnato tempo di ritorno, sulla base della definizione della pioggia di progetto e dalle caratteristiche idrogeomorfologiche del bacino.

Le principali componenti del programma sono:

- il modello meteorologico (*meteorological model*);
- il modello del bacino (*basin model*).

Il *Meteorological model* definisce l'evento pluviometrico di progetto (*rainfall simulation*).

Tramite questo modulo si possono ad esempio utilizzare i dati di un evento pluviometrico registrato, oppure ricostruire un evento con una data probabilità di superamento oltre ad altre distribuzioni standardizzate delle piogge.

Per il presente studio è stato utilizzato un evento pluviometrico basato su una data frequenza di superamento (*frequency – based hypothetical storm*), con eventi di pioggia con tempi di ritorno pari a 20, 30, e 200 anni.

In sintesi la pioggia di progetto è assegnata attraverso i punti della curva di possibilità climatica prescelta.

Il programma provvede ad integrare su valori multipli dell'intervallo di calcolo (*time interval*).

Lo ietogramma di progetto (di assegnata durata) è sviluppato in accordo all'*alternating block method* (Chow, Maidment, Mays 1988), per valori incrementali di precipitazione; secondo questo metodo il blocco di massimo valore (picco centrale) è posizionato alla metà della durata della pioggia, mentre i rimanenti blocchi sono distribuiti con valori discendenti (alternativamente prima e dopo il blocco centrale), con possibilità di distribuire prima del valore di picco il 25, 33, 50 o 67% dell'intera pioggia.

Questo metodo risulta peraltro maggiormente cautelativo dell'ipotesi di ietogramma di progetto con intensità costante pari alla media individuata dalla durata della pioggia, che non considera i picchi caratteristici degli scrosci di massima intensità, mantenendone solo l'altezza cumulata¹.

¹ Su tale ipotesi si basa altresì lo studio di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana, che prevede pioggia di intensità costante individuata sulla curva di possibilità climatica utilizzando la durata di pioggia critica della sezione considerata.

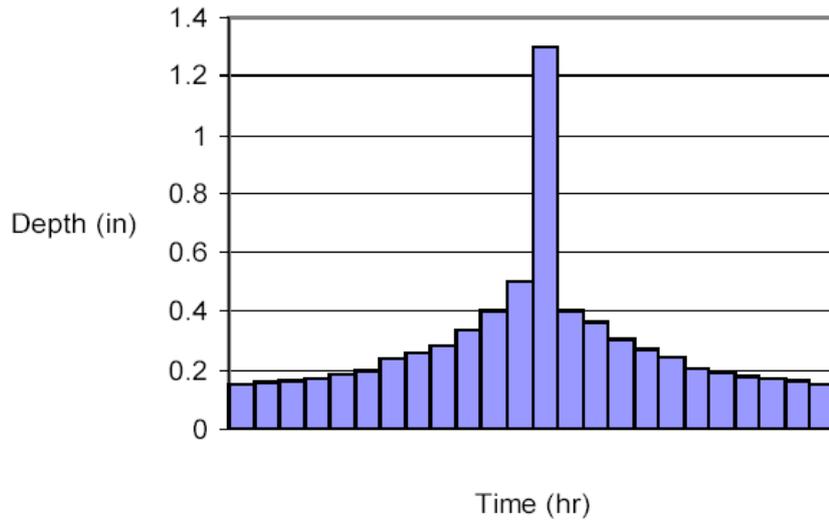


Figura 4 - esempio di distribuzione di frequency-based hypothetical storm

Il *Basin model* contiene le caratteristiche del bacino e i metodi con i quali effettuare la simulazione dei meccanismi di deflusso (*runoff simulation*), in riferimento:

- al *calcolo dei volumi di runoff* (individuazione della pioggia netta che origina il deflusso), per il quale è stato scelto il metodo SCS Curve Number;
- alla *trasformazione dell'eccesso di precipitazione in deflusso* (generazione dell'idrogramma di piena), basandosi sul metodo dell'idrogramma unitario (IUH), per il quale è stato utilizzato l'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS UH Model)².

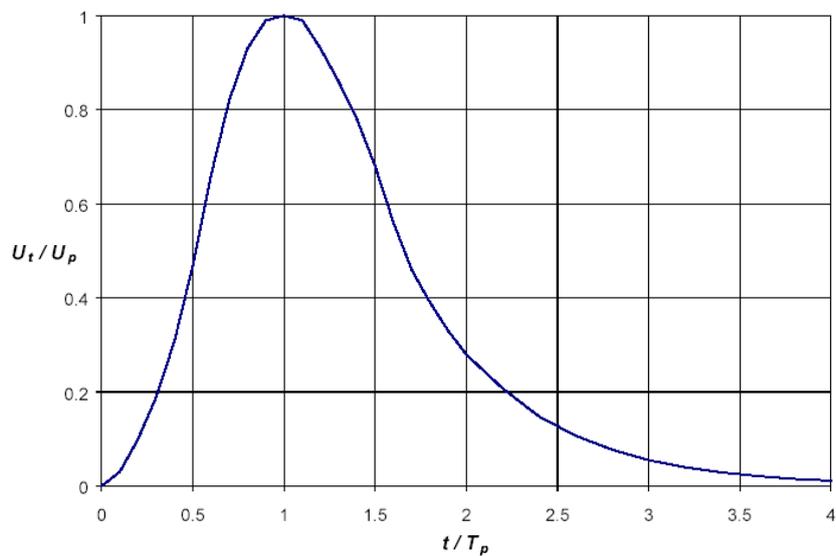


Figura 5 – SCS- esempio di IUH idrogramma istantaneo unitario

Il fattore di riduzione areale delle piogge si basa sulla formula di Moisello e Papiri (1986):

² Trattandosi di piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio il deflusso di base (*baseflow*) è trascurato nella stima della portata di piena

$$r = 1 - e^{\left(-2.472 A_b^{-0.242} d^{0.6} e^{\left(-0.6434 A_b^{0.235} \right)} \right)}$$

con A_b Area del Bacino idrografico

d Durata dell'evento

Per definire l'IUH è necessario stimare per ciascun bacino il tempo di ritardo (*time lag*, t_{lag}), legato al tempo di corrivazione (funzione della velocità di scorrimento) dalla relazione:

$$t_{lag} = 0,6 T_c$$

Il tempo di ritardo rappresenta il ritardo tra il baricentro dello ietogramma della pioggia netta e il baricentro del conseguente idrogramma del deflusso superficiale durante la piena; tale grandezza risulta una caratteristica del bacino, indipendente dallo ietogramma.

L'intervallo di calcolo (*computational interval*, Δt), per una corretta definizione dell'IUH, deve essere inferiore al 29% del tempo di ritardo (t_{lag}): per il T. Rosia Δt è stato assunto pari a 10 minuti, mentre per il F.sso Mulinello e affluenti è stato utilizzato un Δt pari a 4 minuti.

Al fine di ottenere i dati richiesti per la caratterizzazione del modello e per il funzionamento del programma sono state necessarie alcune elaborazioni, riportate nei paragrafi seguenti.

Basin Model per il F.sso Mulinello e il T. Rosia

Le sezioni di chiusura dei bacini del T. Rosia e T. Mulinello sono ubicate a valle del ponte della Strada Comunale del Padule; i bacini e gli interbacini dei due sistemi sono riportati nell'elaborato grafico tav 00.

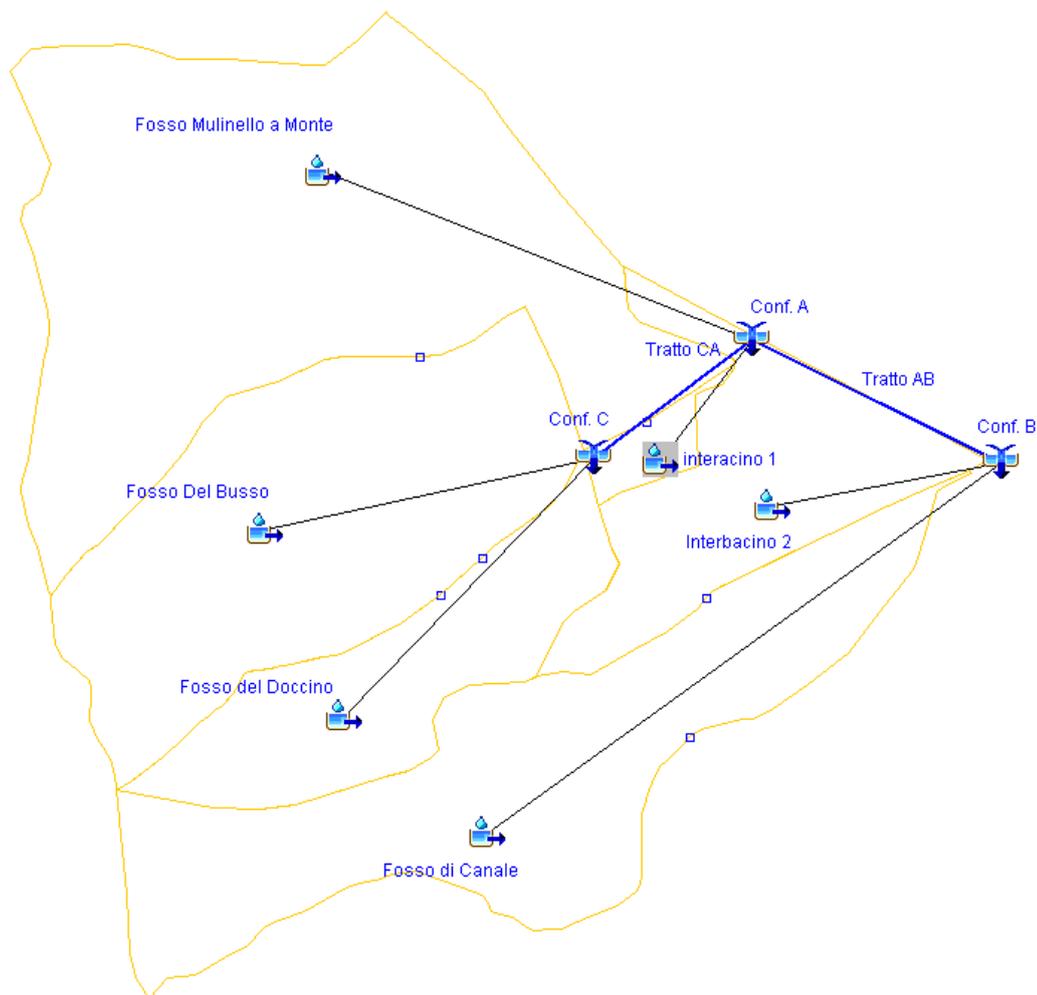


figura 6 – Basin Model del F.sso Mulinello e degli affluenti

Nel sistema idrologico F.sso Mulinello e affluenti per il trasferimento degli idrogrammi dalla confluenza C alla A, e dalla A alla B, è stato utilizzato il modello cinematico, assegnando la lunghezza del tratto L , la pendenza media dell'asta i , la scabrezza media n (coefficiente di Manning) ed una forma trapezoidale simbolica, con indicazione della larghezza media del fondo B e della pendenza delle sponde SS (*side slope*).

Tabella 3 legenda dei parametri del metodo cinematico

	Tratto CA	Tratto AB
Lunghezza asta L [m]	460	650
Pendenza media fondo i [m/m]	0.02	0.03
Coefficiente di Manning n [s/m ^{1/3}]	0.04	0.04
Larghezza del fondo B [m]	1.2	1.5
Pendenza media delle sponde SS [m/m]	0.8	0.8

Ietogramma delle piogge

In considerazione delle dimensioni dei bacini in esame sono stati scelti ietogrammi di progetto di tipo Chicago (50% discharge peak); la caratteristica dello ietogramma Chicago è quella di essere sempre consistente con la linea segnalatrice di possibilità pluviometrica selezionata.

Il software HEC-HMS 3.5 consente quindi di individuare lo ietogramma suddetto, inserendo per ogni tempo di ritorno le altezze di pioggia associate ad una determinata durata dell'evento.

La durata minima della pioggia è stata individuata in 10 min.

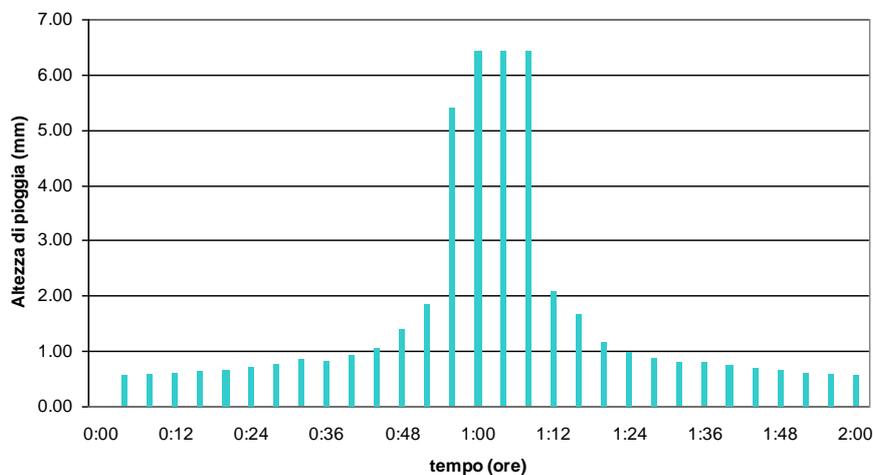
Per la durata massima della pioggia è stato considerato un valore superiore al tempo di corrivazione (t_c)³ dei corsi d'acqua in studio: il tempo di corrivazione è stato determinato in funzione del tempo di ritardo (t_{lag}), a sua volta calcolato con la formula del Bocchiola Rosso (vedi par. Idrogramma unitario di piena e Tempo di Ritardo (Time Lag)).

Tabella 4

	Tempo di ritardo – Tlag (ore)	Tempo di corrivazione – Tc (ore)	Durata della Pioggia - Dp (ore)
F. Mulinello	0.69	1.15	2
T. Rosia	3.71	6.13	12

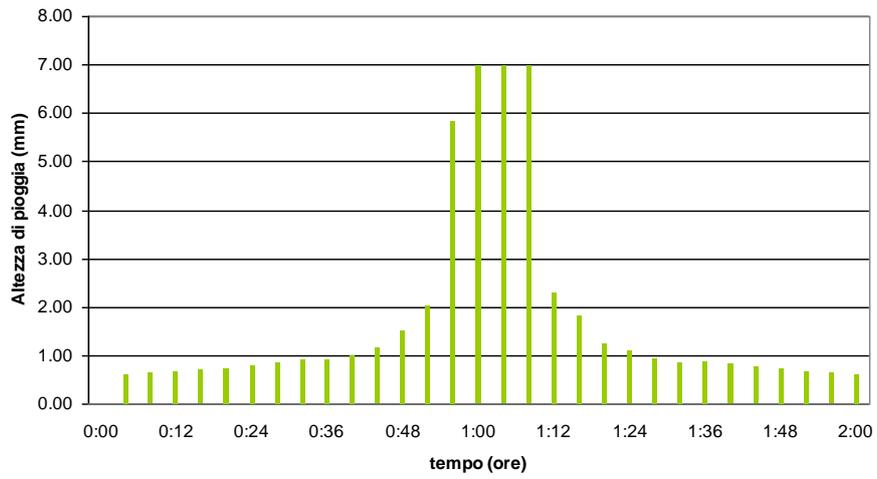
Di seguito si riportano gli ietogrammi relativi ai 3 tempi di ritorno (20, 30, e 200 anni) per il F. Mulinello e il T. Rosia

Ietogramma Tr 20 anni per Dp 2h

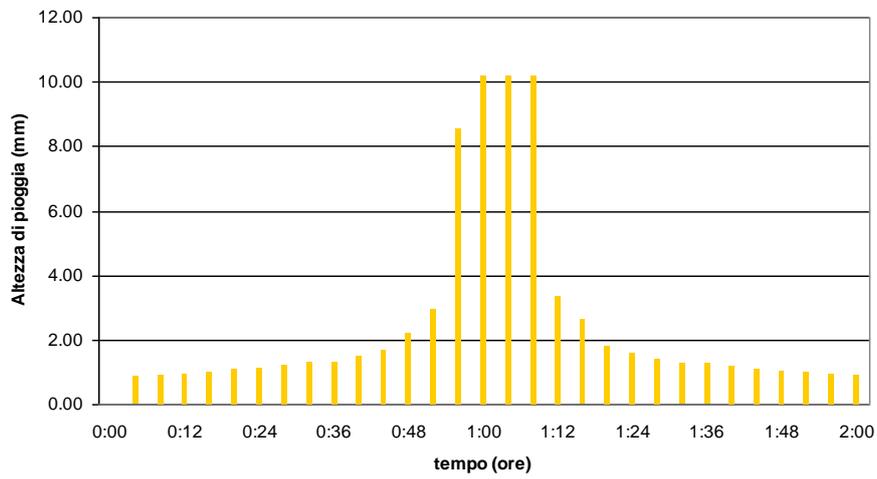


³ Quando si utilizza lo ietogramma delle piogge tipo 'Chicago', Keifer e Chu adottano una durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino: altri autori a favore di sicurezza adottano un tempo di pioggia maggiore del tempo di corrivazione per non sottostimare i volumi totali.

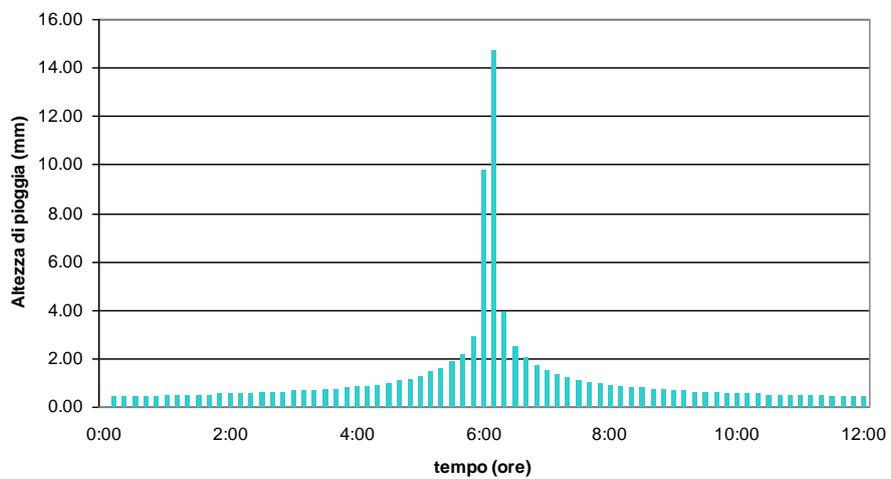
letogramma Tr 30 anni per Dp 2h



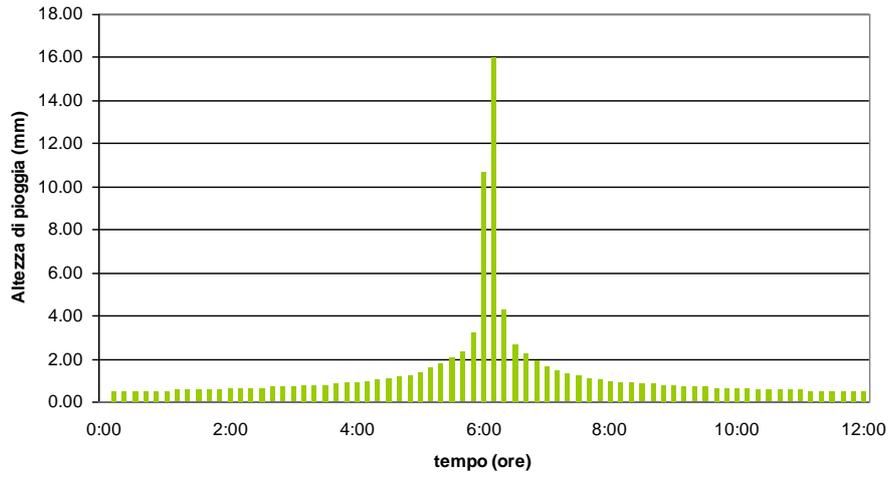
letogramma Tr 200 anni per Dp 2h



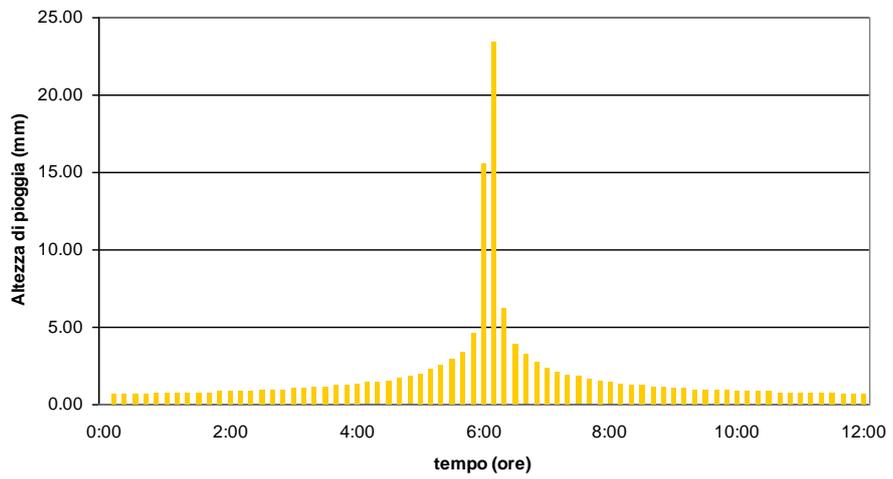
letogramma Tr 20 anni per Dp 12h



letogramma Tr 30 anni per Dp 12h



letogramma Tr 200 anni per Dp 12h



Calcolo delle portate di progetto

Stima del coefficiente di deflusso – metodo Curve Number

Il coefficiente di deflusso è stato individuato utilizzando il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service americano (SCS).

Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati, secondo la teoria esposta di seguito.

Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, a partire dall'inizio dell'evento di precipitazione, della pioggia $P(t)$, del deflusso superficiale $Q(t)$, delle perdite iniziali $I_a(t)$ prima della produzione di deflusso e di quelle successive $I(t)$:

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

esprese in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm)

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S :

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

Viene inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3.

Il SCS propone per l'intercettazione iniziale:

$$I_a = 0.2 S$$

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S , che a sua volta viene espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto curve number, che a sua volta viene tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine curve number deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i volumi di deflusso e di precipitazione (coefficiente di deflusso cumulato) in funzione del volume della precipitazione.

Definendo il coefficiente di deflusso come:

$$C = Q / P$$

Dove:

Q (mm) è il deflusso di piena

P (mm) è l'afflusso meteorico

Il coefficiente di afflusso viene fatto dipendere dall'afflusso meteorico P, secondo l'espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2 K)^2}{(1 + 0.8 K)}$$

dove $K = S / P$

dipende dalla grandezza S (mm), definita ritenzione potenziale del bacino, che risulta funzione, attraverso "runoff curve number" (CN), della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, della sua copertura vegetale, ecc., secondo l'espressione:

$$S = 254 \left[\frac{100}{CN} - 1 \right]$$

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno⁴:

- gruppo A: terreni sabbiosi molto permeabili
- gruppo B: terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- gruppo C: terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- gruppo D: terreni argillosi quasi impermeabili.

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano tre:

condizione I: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;

condizione II: il terreno è mediamente umido;

condizione III: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento considerato; nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 25 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Per la determinazione del CN2 sono stati utilizzati i dati provenienti dalla carta di uso del suolo, corretta con la carta litologica per l'individuazione del gruppo (A, B, C, D) del terreno previsto dal metodo.

⁴ Vedi Manuale di Ingegneria Civile, Ed.ni ESA C- Zanichelli, Vol. I - Sezione Idraulica – Idrologia Tecnica.

Bacini T. Rosia e F.sso del Mulinello – Litologia

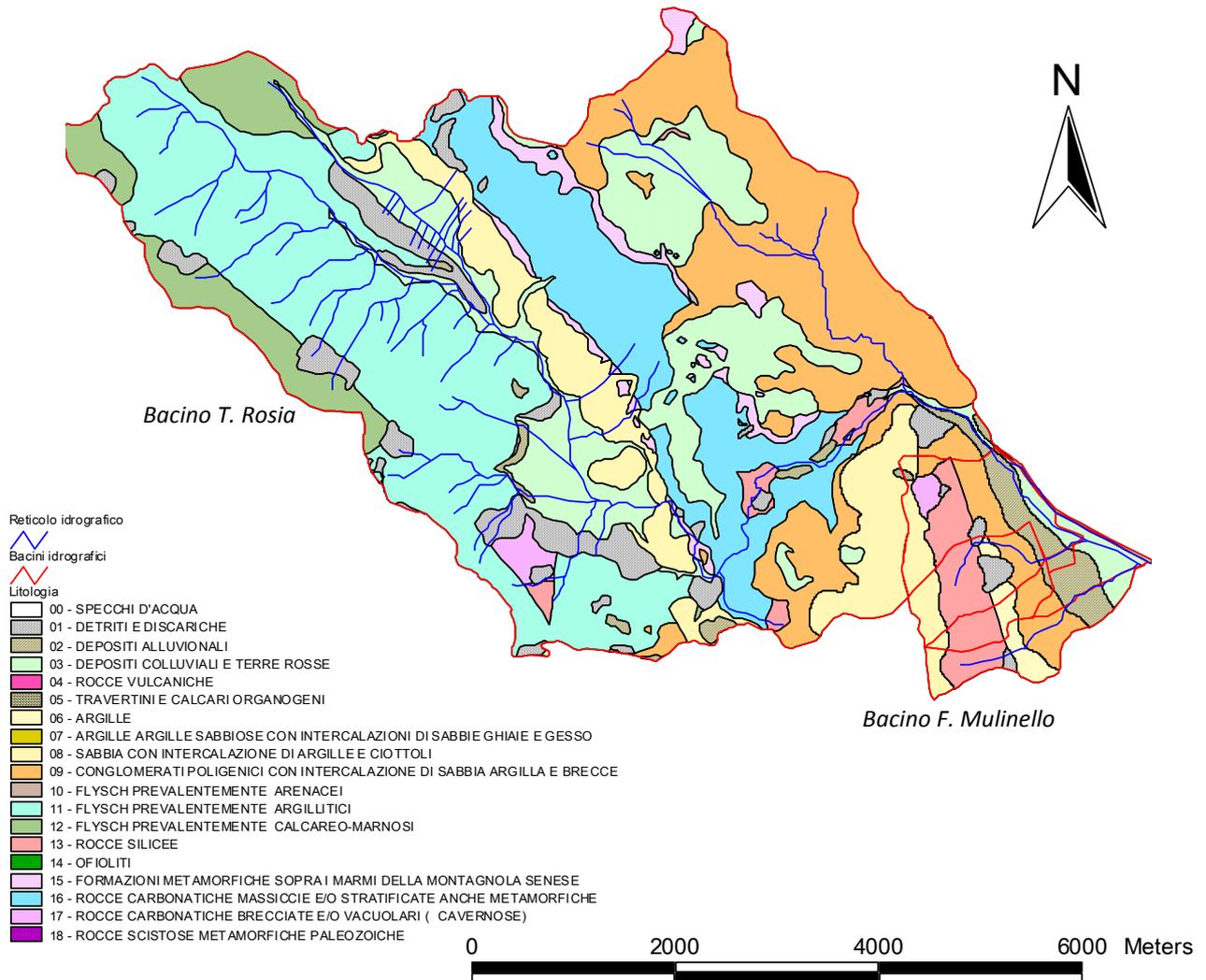


Figura 7 - carta litologica

Bacini T. Rosia e F.sso del Mulinello – Uso del suolo

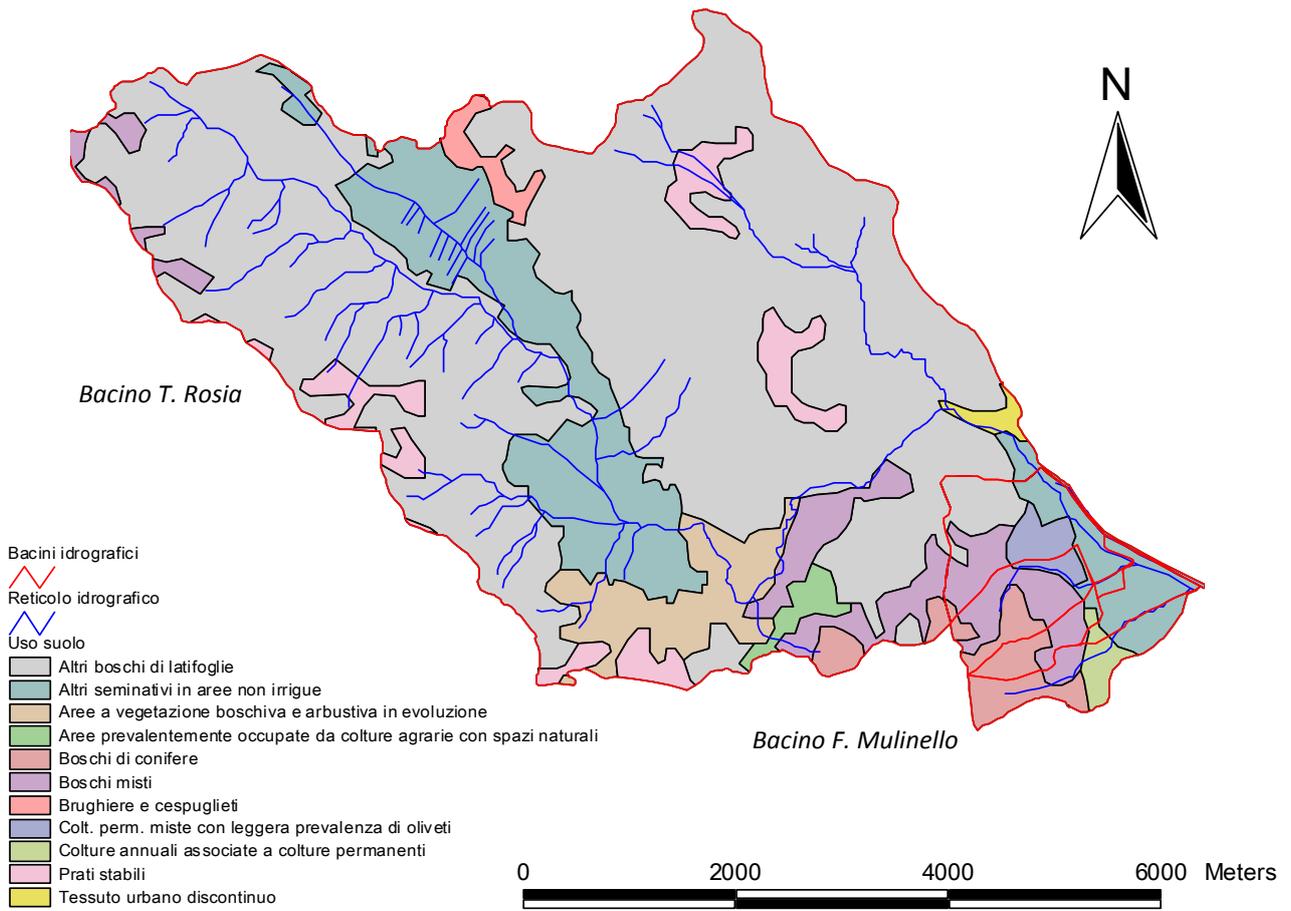


Figura 8 – carta dell'uso del suolo

Bacini T. Rosia e F.sso del Mulinello – CN2

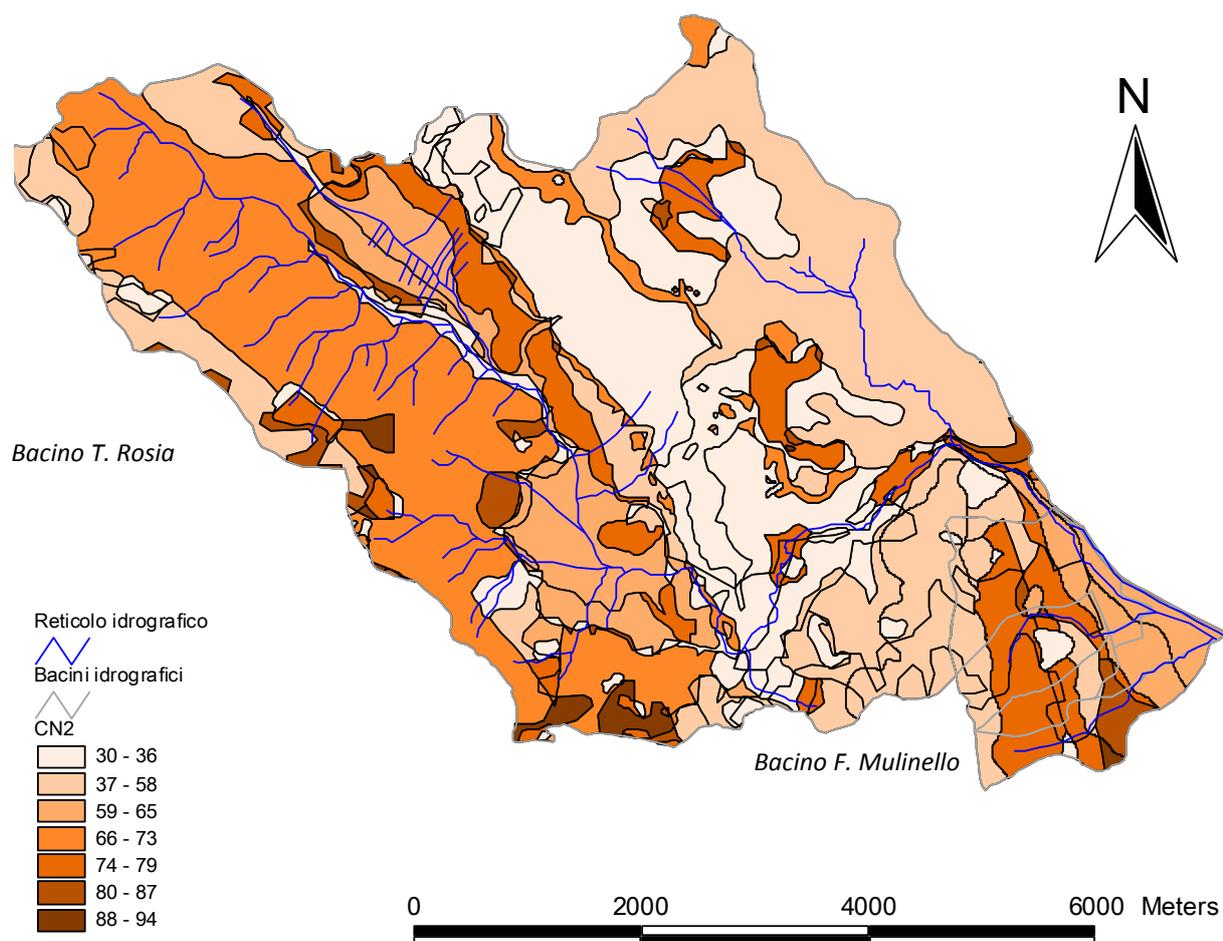


Figura 9 – carta del CN2

Si ottengono pertanto i seguenti valori di CN:

Tabella 5 - Valori di CN1, CN2, CN3 individuati nei bacini e sottobacini del presente studio idrologico idraulico

Descrizione	Area [Kmq]	CN1	CN2	CN3
F.sso del Mulinello a monte F.sso del Busso– sez Mulinello 1	1.286	44.68	65.01	81.21
F.sso del Busso a monte F.sso Doccino– sez. Busso 1	0.807	46.24	66.42	82.14
F.osso del Doccino – sez. Doccino	0.372	48.60	68.50	83.49
Interbacino 1 (Bacino F.sso del Busso)	0.045	44.63	64.96	81.17
F.sso di Canale – sez. Canale	0.798	52.40	71.69	85.48
F.sso del Busso a monte F.sso del Mulinello – sez. Busso 3	1.224	46.77	66.90	82.46
Interbacino 2 (Bacino F.sso del Mulinello)	0.394	46.31	66.49	82.19
F.sso Mulinello alla sezione di chiusura – sez. Mulinello 4	3.702	47.19	67.27	82.70
T. Rosia alla sezione di chiusura – sez. Rosia	33.076	36.34	56.77	75.33

Per il calcolo della ritenzione potenziale “S”, e dell’infiltrazione iniziale “Ia” è stato considerato nei bacini oggetto del presente studio di assumere la situazione più cautelativa ipotizzando condizioni di terreno saturo (CNIII).

Idrogramma unitario di piena e Tempo di Ritardo (Time Lag)

L'idrogramma unitario di piena (IUH) del SCS può essere interpretato formalmente come l'idrogramma della piena provocata da una precipitazione di durata infinitesima e di volume unitario.

Per tutti i bacini, ad esclusione dell'interbacino 1 (la cui analisi si rimanda a fine capitolo), per la stima del tempo di ritardo si è fatto riferimento a metodi che tengono conto sia di una caratterizzazione geomorfologica del bacino idrografico, sia della ritenzione potenziale S, funzione del valore del CN.

Il tempo di Ritardo t_{lag} , pari al ritardo del baricentro dell'idrogramma rispetto a quello dello ietogramma, può essere stimato a partire dai seguenti metodi:

- Calcolando il tempo di ritardo come prodotto fra i parametri n e k dell'idrogramma unitario di piena di Nash;
- Calcolando il tempo di ritardo con la formula del SCS (Soil Conservation Service);
- Calcolando il tempo di ritardo con la formula di Bocchiola, Rosso (2003), applicazione per i bacini italiani del metodo SCS.

Di seguito si espongono i metodi elencati.

Tempo di ritardo - metodo di Nash

Il tempo di ritardo è calcolato mediante la seguente relazione:

$$t_{lag} = n \cdot k$$

Con

n-parametro di forma dell'idrogramma di Nash

k-parametro di scala dell'idrogramma di Nash

I parametri geomorfologici sono stati calcolati attraverso le formule del Rosso, mediante i parametri di Horton, determinati sulla base della cartografia disponibile (CTR 1:10.000), solo per il bacino idrografico del T. Rosia, essendo il F.sso Mulinello un corso d'acqua di ordine 2.

Tabella 6 - parametri di Horton per il bacino del T. Rosia

Ordine	Num. Aste	Lunghezza [m]	Lunghezza Media Lm [m]	Area [mq]	Area media [mq]
1	52	30917	594.55769	14656598	281857
2	14	11316	808.28571	19347595	1381971
3	3	8370	2790	22854391	7618130
4	1	8190	8190	33076962	33076962

Rb	Rapporto di biforcazione	2.667
Rl	Rapporto delle lunghezze	2.613
Ra	Rapporto delle aree	1.878

Mentre i parametri n e K dell'idrogramma di Nash possono variare in funzione del tipo di evento, il loro prodotto è più stabile e risulta caratteristico per il bacino in esame.

Per il bacino del T. Rosia, i parametri n e k sono stati stimati tramite le formule da Rosso, a partire dalla gerarchizzazione di Horton delle aste idrografiche e dei parametri già calcolati.

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad k = 0.7 \left(\frac{R_a}{R_b R_l} \right)^{0.48} \cdot \frac{L_c}{V_m} \quad t_{lag} = n \cdot k$$

Tabella 7 - parametri dell'idrogramma di Nash per il bacino del T. Rosia

T. Rosia	
n	2.873
k [h]	1.171
t_{lag} [h]	3.36
t_{lag} [min]	201.6

Tempo di ritardo -metodo SCS

Il SCS (Soil Conservation Service) stima il tempo di ritardo mediante la formula:

$$t_{lag} = L^{0.8} \frac{(S'+1)^{0.7}}{1900 \cdot w_s^{0.5}} \quad [h]$$

Dove:

L [feet] → lunghezza dell'asta principale (considerando l'impluvio di lunghezza massima + l'asta cartografata)

Ws [%] → pendenza media della rete di drenaggio (in termini percentuali)

S' [inch] → ritenzione potenziale

Si riporta di seguito un grafico per l'individuazione del tempo di ritardo attraverso la velocità di trasferimento dell'idrogramma in funzione della pendenza e delle caratteristiche del bacino

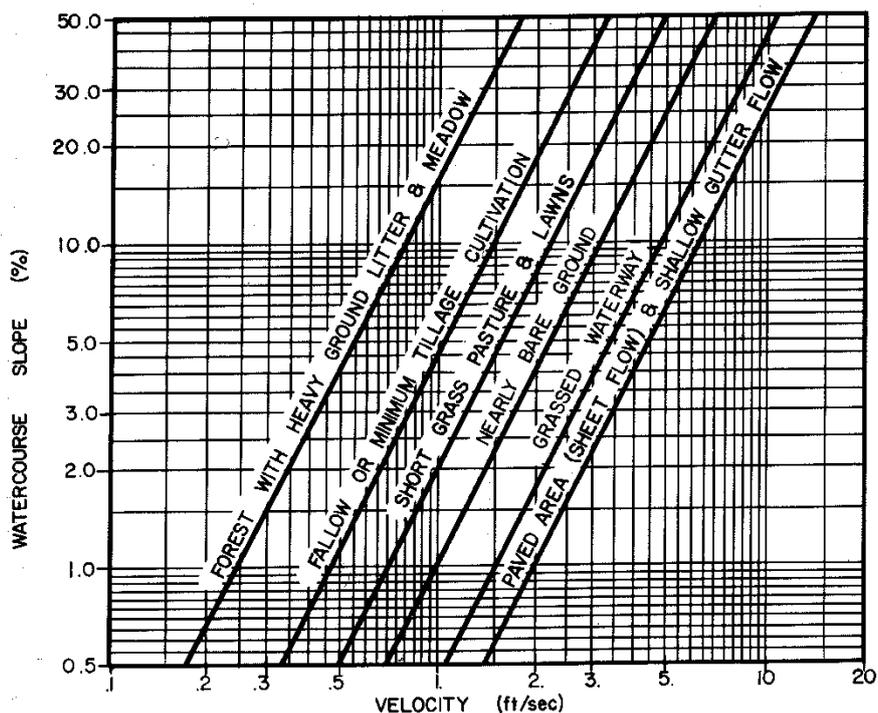


Tabella 8 - – tempi di ritardo per i sottobacini del F.sso Mulinello e T. Rosia secondo il metodo SCS

	F.sso del Mulinello Sez. Mulinello 1	F.sso del Busso Sez. Busso 1	Fosso del Doccino Sez. Doccino	F.sso del Busso Sez. Busso 3	Interb. 2	F.sso di Canale Sez. Canale	F.sso Mulinello Sez. Mulinello 4	T. Rosia Sez. D
L [Km]	2.25	1.88	1.47	2.34	1.13	2.51	2.90	1.59
L [feet]	7364	6170	4822	7669	3706	8233	95212	52381
Iv o ws [%]	10.22	17.16	21.55	14.19	9.45	12.68	7.97	2.57
S [mm]	58.78	55.23	50.23	54.04	55.05	43.13	53.13	83.17
S [inch]	2.31	2.17	1.98	2.13	2.17	1.70	2.09	3.27
t_{lag} [h]	0.47	0.31	0.22	0.40	0.27	0.40	0.63	5.41
t_{lag} [min]	28.35	18.43	12.91	23.86	16.49	24.10	37.53	324.40

Tempo di ritardo – metodo Bocchiola e Rosso (2003)

Bocchiola e Rosso (2003)⁵ stimano il tempo di ritardo mediante la formula:

$$t_{lag} = 0.026 \cdot L^{0.82} \frac{(S'+1)^{0.13}}{i_v^{0.2}} \quad [h]$$

Dove:

- L [km] → lunghezza dell'asta principale (considerando l'impiuvio di lunghezza massima + l'asta cartografata)
- Iv [%] → pendenza media della rete di drenaggio (in termini percentuali)
- S' [mm] → ritenzione potenziale

Tabella 9 – tempi di ritardo per i sottobacini del F.sso Mulinello e T.Rosia secondo il metodo Bocchiola, Rosso (2003)

	F.sso del Mulinello Sez. Mulinello 1	F.sso del Busso Sez. Busso 1	F.sso del Doccino Sez. Doccino	F.sso del Busso Sez. Busso 3	Interb. 2	F.sso di Canale Sez. Canale	F.sso Mulinello Sez. Mulinello 4	T. Rosia Sez. D
L [Km]	2.25	1.88	1.47	2.34	1.13	2.51	2.90	1.59
Iv o ws [%]	10.22	17.16	21.55	14.19	9.45	12.68	7.97	2.57
S [mm]	58.78	55.23	50.23	54.04	55.05	43.13	53.13	83.17
t_{lag} [h]	0.54	0.42	0.32	0.52	0.31	0.54	0.69	3.71
t_{lag} [min]	32.37	25.04	19.31	31.01	18.57	32.66	41.43	222.84

⁵ Pubblicato sulla rivista l'Acqua, "Sul tempo di risposta dei bacini idrografici italiani" (2003).

Nella tabella seguente si riporta il confronto tra i vari metodi esposti applicati al bacino e relativi sottobacini in studio.

Tabella 10 – tempi di ritardo per i sottobacini del F.sso Mulinello e del T.Rosia secondo i diversi metodi considerati

	F.sso del Mulinello Sez. Mulinello 1	F.sso del Busso Sez. Busso 1	F.sso del Doccino Sez. Doccino	F.sso del Busso Sez. Busso 3	Interb. 2	F.sso di Canale Sez. Canale	F.sso Mulinello Sez. Mulinello 4	T. Rosia Sez. D
t_{lag} [min] Nash	-	-	-	-	-	-	-	201.6
t_{lag} [min] SCS	28.35	18.43	12.91	23.86	16.49	24.10	37.53	324.40
t_{lag} [min] Bocchiola	32.37	25.04	19.31	31.01	18.57	32.66	41.43	222.84

Dall'analisi dei risultati è evidente come i metodo Bocchiola-Rosso e SCS restituiscono per il bacino del F.sso Mulinello valori simili, mentre per il T. Rosia si ha una discordanza che supera le 2 ore; il metodo geomorfologico per il T. Rosia produce un tempo di ritardo paragonabile al metodo Bocchiola e quindi si assume quest'ultima formula per il calcolo dei tempi di ritardo dei bacini in studio.

Il tempo di ritardo dell'interbacino 1, in ragione delle ridotte dimensioni e dell'antropizzazione del bacino, situato all'interno dell'area produttiva di Bellaria, è stato calcolato indirettamente, utilizzando la relazione che lega tempo di ritardo e tempo di corrivazione :

$$T_{lag} = 0.6 T_c$$

e ricavando quest'ultimo come somma del tempo di scorrimento TI all'interno della rete di drenaggio e il tempo di scorrimento superficiale Tb.

$$T_c = T_b + T_I$$

dove:

- T_c *Tempo di corrivazione*
- T_b *Tempo di scorrimento su rete di drenaggio* (tempo di scorrimento lungo i canali che costituiscono il percorso più lungo della rete di drenaggio).
- T_I *Tempo di scorrimento superficiale* (tempo massimo che impiegano le particelle d'acqua a raggiungere dal punto di caduta il più vicino condotto della rete di drenaggio).

Adottando un valore di 15 minuti come tempo di scorrimento superficiale⁶ e considerando una velocità di moto uniforme di 1.5 m/s nel tronco massimo di fognatura lungo 400 metri all'interno di suddetto bacino, si ottiene:

$$T_c = 15 + 4,5 = 19,5 \text{ minuti}$$

e un quindi un T_{lag} pari a 11,7 minuti.

⁶ Valore mediano calcolato da Fair, riferimento Manuale di Ingegneria Civile n.1.

Sintesi dei risultati – Portate di piena

Si riportano di seguito le portate massime di piena per tempi di ritorno di 20, 30 e 200 anni, risultato della simulazione con il software HEC-HMS 3.5:

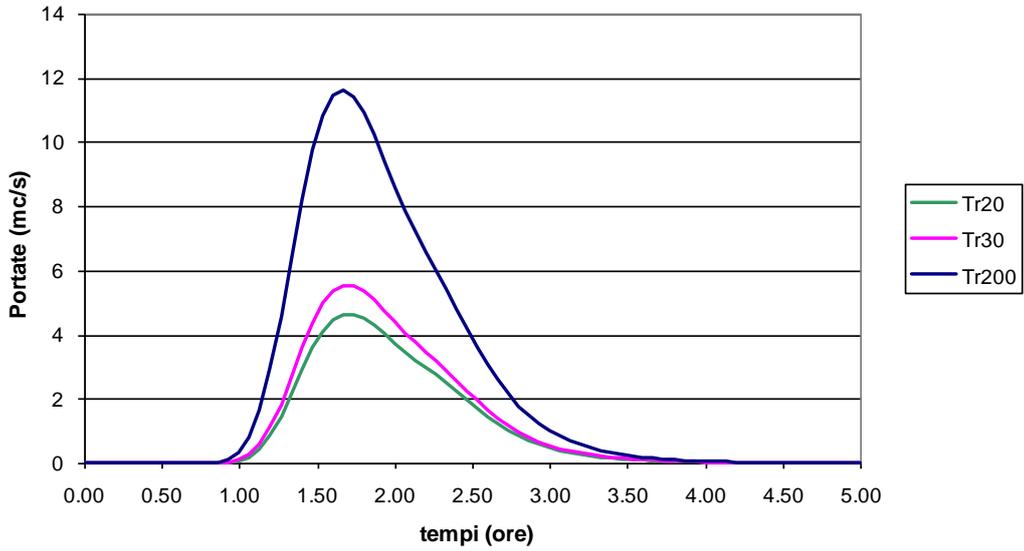
Tabella 11 - portate massime di piena del F.sso Di Mulinello e affluenti e del T. Rosia

	Area	Tr	Volume affluito	Volume defluito	Cd	Qvalle	q unit.
	[kmq]	[anni]	[1000 mc]	[1000 mc]	[#]	[mc/s]	[mc/s kmq]
F.sso Mulinello - sez Mulinello 1 (monte confluenza F.sso del Busso)	1.286	20	62.1	18	0.29	4.62	3.59
		30	67.4	21.4	0.32	5.51	4.28
		200	98.7	43.9	0.44	11.62	9.04
F.sso del Busso – sez Busso 1 (monte confluenza F.sso del Doccino)	0.807	20	39	12.1	0.31	3.32	4.11
		30	42.3	14.3	0.34	3.93	4.87
		200	61.9	28.8	0.47	8.14	10.09
F.sso del Doccino – sez Doccino (monte confluenza f.sso del Busso)	0.372	20	18	6.2	0.34	1.9	5.11
		30	19.5	7.2	0.37	2.24	6.02
		200	28.5	14.1	0.49	4.47	12.02
F.sso del Busso – sez Busso 2 (valle confluenza F.sso del Doccino)	1.179	20	57	18.3	0.32	5.16	4.38
		30	61.8	21.5	0.35	6.5	5.51
		200	90.4	42.9	0.47	12.44	10.55
F.sso del Busso – sez Busso 3 (monte confluenza F.sso del Busso)	1.224	20	57.6	18.9	0.33	5.24	4.28
		30	62.5	22.2	0.36	6.22	5.08
		200	93.9	44.4	0.47	12.73	10.40
F.sso Mulinello - sez. Mulinello 2 (valle confluenza F.sso del Busso)	2.510	20	119.7	36.9	0.31	9.84	3.92
		30	129.9	43.6	0.34	11.69	4.66
		200	192.6	88.3	0.46	24.17	9.63
F.sso Mulinello - sez. Mulinello 3** (monte confluenza F.sso di Canale)	2.904	20	138.7	42.8	0.31	11.18	3.85
		30	150.5	50.6	0.34	13.35	4.60
		200	222.8	102.4	0.46	27.69	9.54
F.sso di Canale – sez. Canale (monte confluenza F.sso del Mulinello)	0.798	20	38.5	15.2	0.39	3.96	4.96
		30	41.8	17.6	0.42	4.61	5.78
		200	61.2	33.3	0.54	8.83	11.07
F.sso Mulinello - sez. Mulinello 4 (valle confluenza F.sso di Canale)	3.702	20	177.2	57.9	0.33	15.18	4.10
		30	192.3	68.1	0.35	17.96	4.85
		200	284	135.6	0.48	36.46	9.85
T. Rosia – sez. Rosia	33.078	20	2850.7	1047.5	0.36	42.0	1.27
		30	3092.4	1220.8	0.39	49.2	1.49
		200	4528.1	2351.4	0.52	96.3	2.91

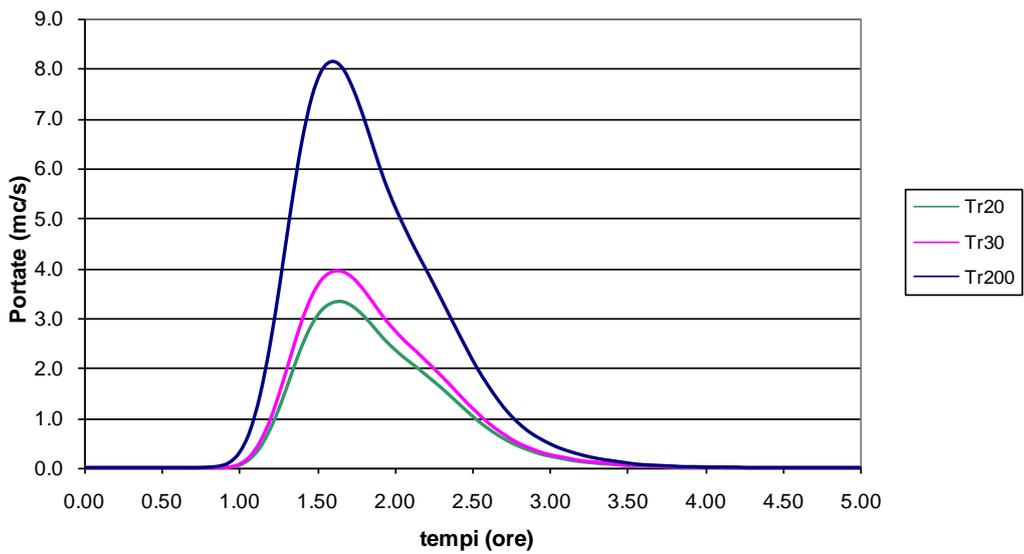
Sintesi dei risultati - Idrogrammi di piena

Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena che massimizzano le portate nelle sezioni di chiusura individuate.

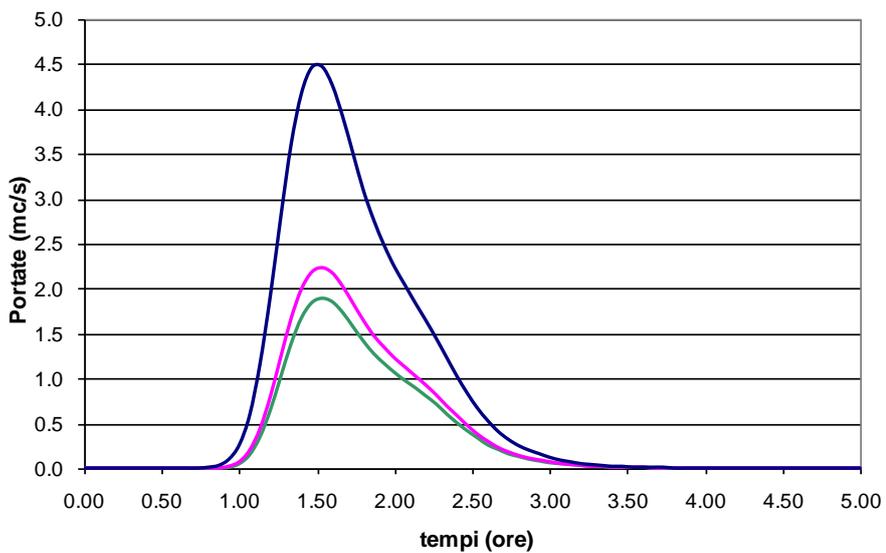
Idrogrammi di piena F.sso Mulinello - sez. Mulinello 1



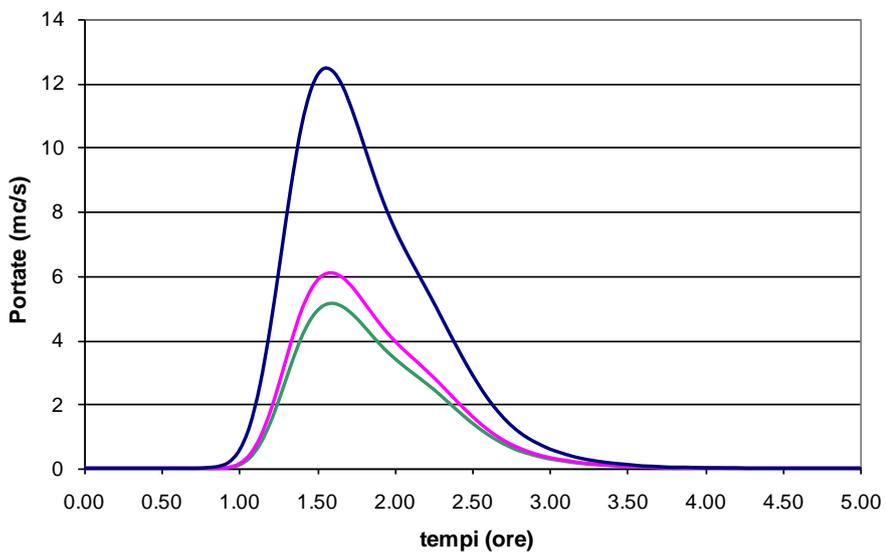
Idrogrammi di piena F.sso del Busso - sez. Busso 1



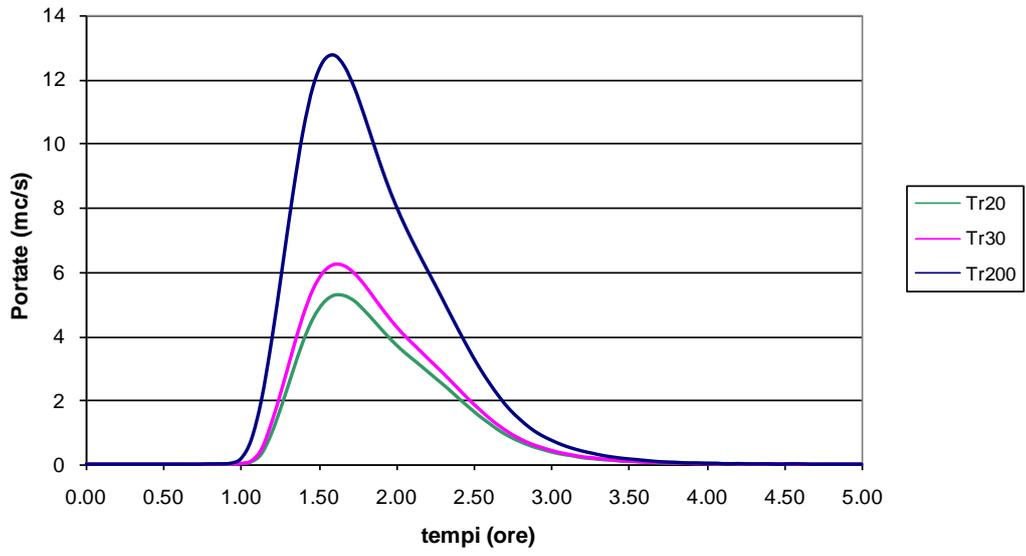
Idrogrammi di piena F.sso del Doccino - sez. Doccino



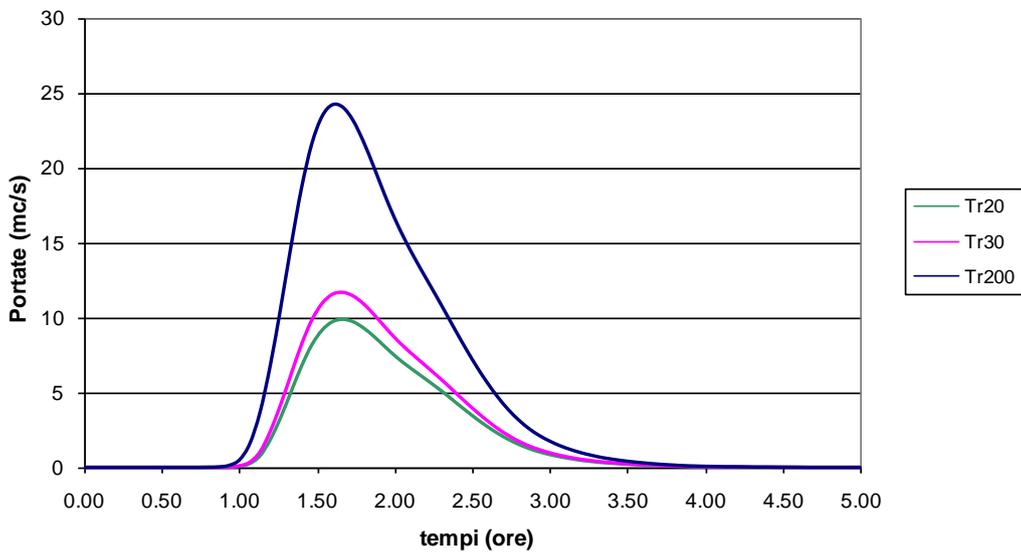
Idrogrammi di piena F.sso Busso - sez. Busso 2



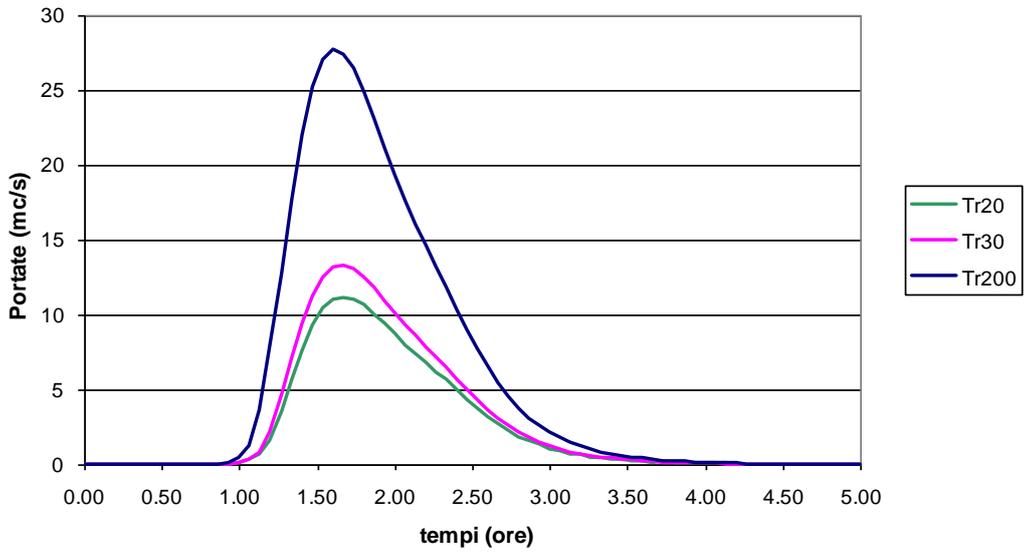
Idrogrammi di piena F.sso del Busso - sez. Busso 3



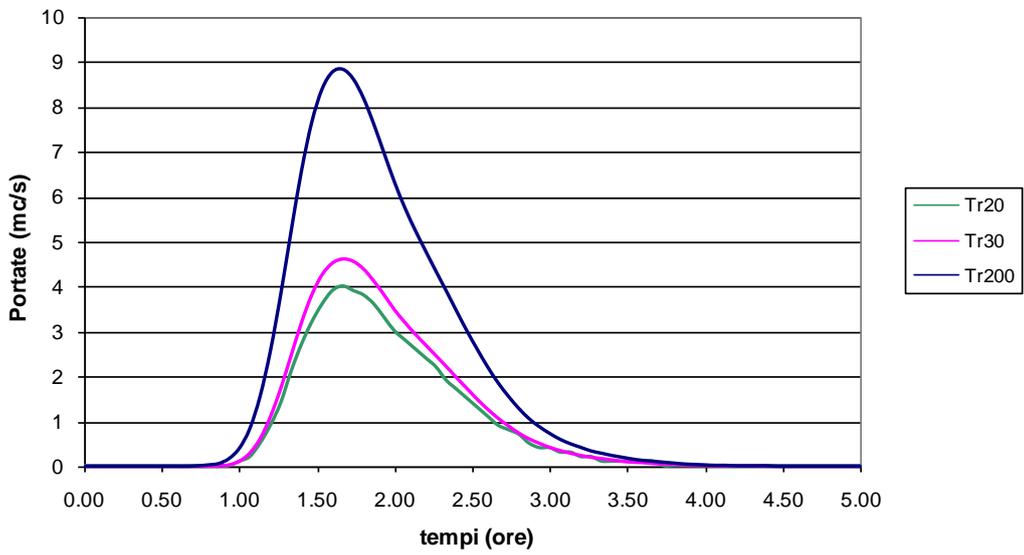
Idrogrammi di piena F.sso Mulinello - sez. Mulinello 2



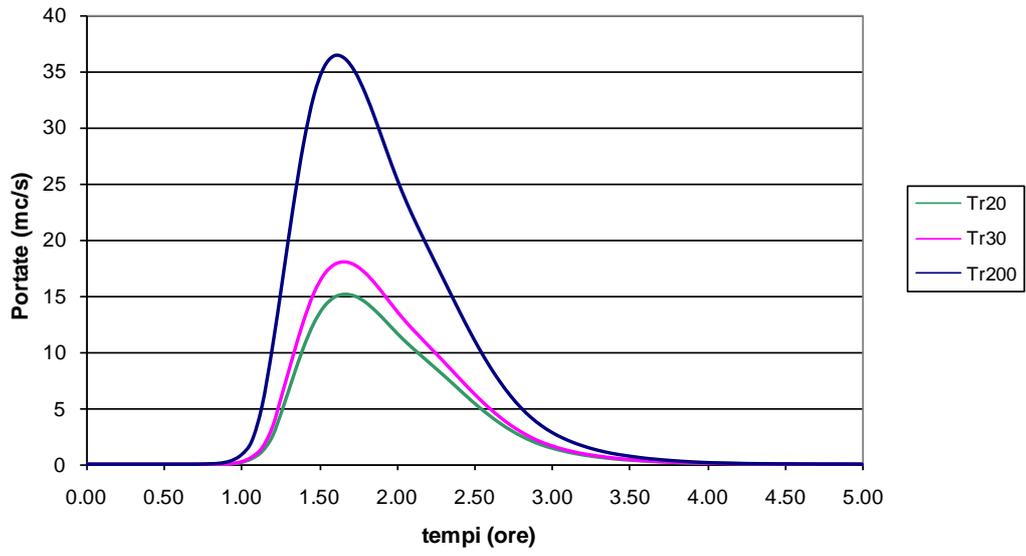
Idrogrammi di piena F.sso Mulinello - sez. Mulinello 3



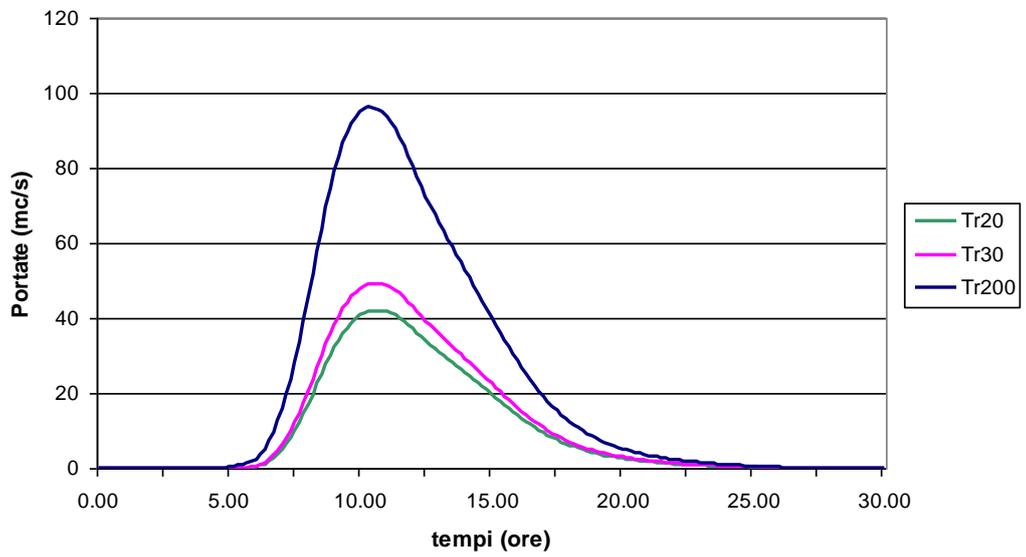
Idrogrammi di piena F.sso di Canale - sez. Canale



Idrogrammi di piena F.sso Mulinello - sez. Mulinello 4



Idrogrammi di piena T. Rosia - sez. Rosia



Di seguito le tabelle di sintesi nella sezione di chiusura individuata.

Tabella 13 - risultati dell'applicazione del modello di regionalizzazione al bacino in studio del T. Rosia (applicativo AIto 2000 GIS)

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
7500	0	ROSIA	20	4.068	1	0.4	60.453	14.862	0.036	0.25	0.01	1	56.494	22	37.012	56.834
7500	0	ROSIA	30	3.828	1	0.4	64.219	16.778	0.036	0.25	0.01	1	59.945	21.795	40.668	63.252
7500	0	ROSIA	200	3.588	1	0.4	91.676	25.554	0.036	0.25	0.01	1	85.471	21.59	66.399	101.238

Tabella 14 - legenda dei parametri utilizzati da AIto2000 GIS

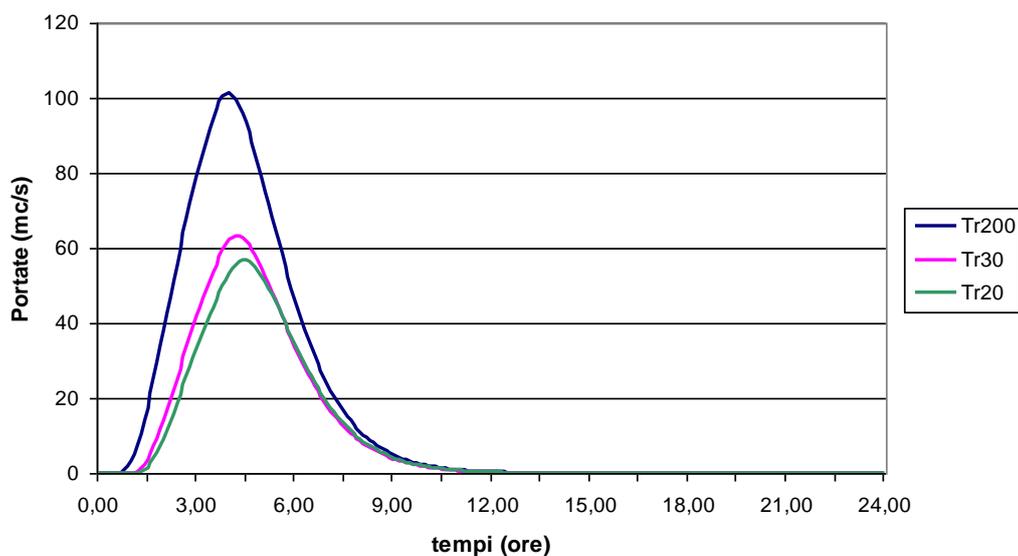
Parametri del bacino

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Area	Area sottesa [kmq];
la	Perdita iniziale media sul bacino [mm];
Ks	Infiltrazione a saturazione media sul bacino [mm/ora];
N	parametro di forma dell'idrogramma di Nash;
K	parametro di scala dell'idrogramma di Nash [ore];
a1	parametro a1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n1	parametro n1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
m1	parametro m1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
a	parametro a della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n	parametro n della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;
m	parametro m della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;

Risultati elaborazione

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94;
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Tr[anni]	Tempo di ritorno;
Durata [h]	Durata evento;
Forma ieto	Intensità costante (0), Ietogramma Chicago (1);
Picco ieto	Tempo di picco dello ietogramma tipo Chicago;
Afflusso [mm]	Afflusso meteorico;
Intensità [mm/h]	Intensità media dell'evento;
Fa	Parametro a della formula di ragguaglio areale;
Fb	Parametro b della formula di ragguaglio areale;
Fc	Parametro c della formula di ragguaglio areale;
Tipo calcolo Kr	Singola sezione (0), Globale (1), Fisso (2), Area fissa (3)
Area fissa [kmq]	Area fissa su cui calcolare il Kr
Kr	Valore del coefficiente di ragguaglio areale;
Prec	precipitazione
Vol. lib.	volume libero nel suolo [mm]
Inf.tot.[mm]	Quantità di acqua che si infiltra nel suolo;
Defl.tot. [mm]	Deflusso, Afflusso ridotto meno Infiltrazione;
Q [mc/s]	Portata al colmo;
Max vol. [mc]	Massimo volume invasato nell'opera di laminazione [mc];
Max liv. [m]	Massimo livello nell'opera di laminazione [m];
Q valle [mc/s]	Portata al colmo a valle dall'opera di laminazione [mc/s].

Idrogrammi di piena T. Rosia (Alto sez 7500)



Si riportano (tabella 15) i valori unitari di portata al colmo del T. Rosia individuati con il metodo della Regionalizzazione e con il metodo S.C.S.

Nel metodo della Regionalizzazione l'area topografica di bacino si differenzia dall'area sottesa che è l'area drenante del bacino.

Tabella 15 - confronto tra Regionalizzazione (AITo) e metodo S.C.S.

	Area Topografica del Bacino [kmq]	Q_{20} [mc/s]	Q_{30} [mc/s]	Q_{200} [mc/s]	q_{20} [mc/s kmq]	q_{30} [mc/s kmq]	q_{200} [mc/s kmq]
Metodo Regionalizzazione	38.4	56.8	63.2	101.2	1.47	1.64	2.63
Metodo S.C.S.	33.1	42.0	49.2	96.3	1.27	1.49	2.91

Si può concludere pertanto che dai dati disponibili dallo studio di regionalizzazione (riferito ad un bacino collocato più a monte, ma con un'area topografica individuata maggiore) le portate unitarie risultano praticamente allineate con i risultati dello studio idrologico.